

**Manual de experimentos**

WL 372 Transmisión de Calor  
por Conducción/PC

**G.U.N.T. Gerätebau GmbH**

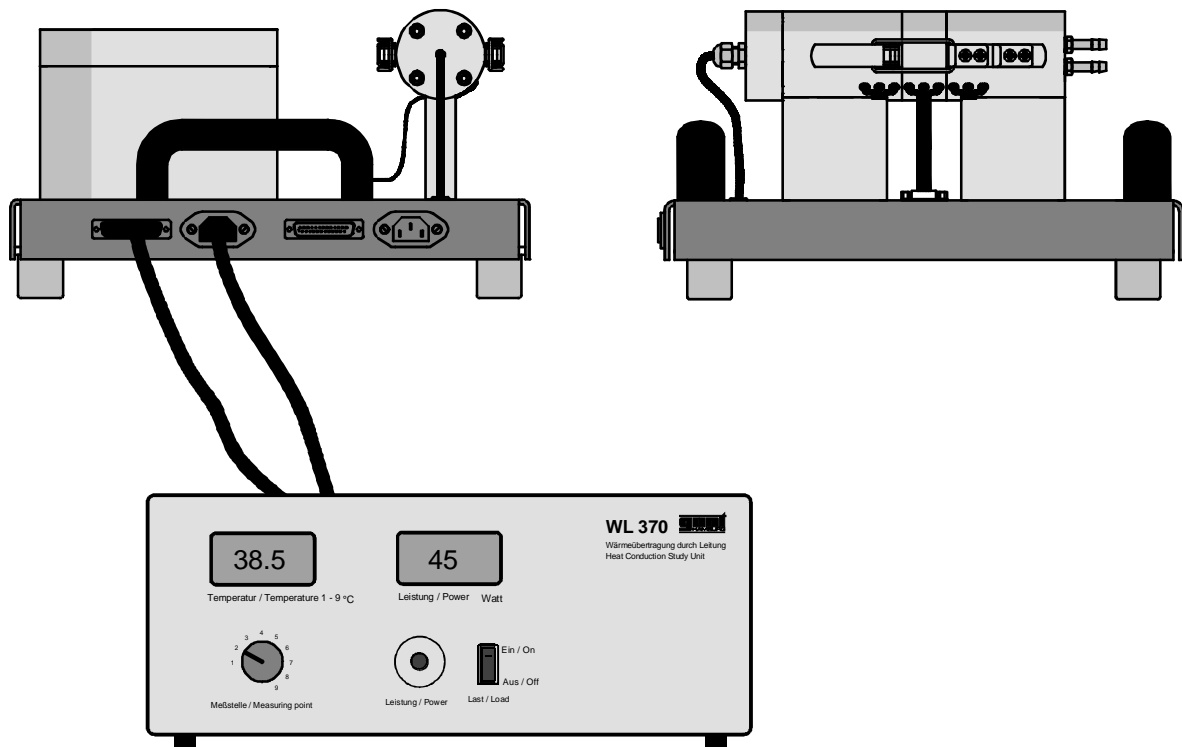
Fahrenberg 14

D-22885 Barsbüttel • Alemania

Teléfono +49 (40) 670854-0

Telefax +49 (40) 670854-42

# WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Todos los derechos reservados . G.U.N.T. Gerätebau GmbH., Alemania 02/98

## Manual de experimentos

**¡Antes de la primera puesta en marcha del equipo lea atentamente las medidas de seguridad!**

**¡El equipo sirve exclusivamente para educación y formación así como para investigación! ¡No ha sido concebido para el uso industrial!**

## Indice General

1	Introducción .....	1
2	Descripción del equipo .....	2
2.1	Estructura del equipo .....	2
2.1.1	Conducción de calor lineal .....	3
2.1.2	Conducción de calor radial .....	4
2.1.3	Equipo de manejo e indicación .....	4
2.2	Puntos de medición y dimensiones .....	5
2.2.1	Conducción de calor lineal .....	5
2.2.2	Conducción de calor radial .....	6
2.3	Puesta en marcha .....	7
2.4	Registro de datos de medición .....	8
2.4.1	Montaje de la tarjeta multifuncional .....	8
2.4.2	Instalación del software .....	8
2.4.3	Manejo del software .....	9
2.4.3.1	Pantalla "Linear Conduction" (Conducción lineal) .....	9
2.4.3.2	Pantalla "Linear Conduction with Seperator" (Conducción lineal con divisor) .....	10
2.4.3.3	Pantalla "Radial Conduction" (Conducción radial) .....	11
2.4.4	Jerarquía de las pantallas .....	11
2.4.5	Cómo guardar los valores de medición en un archivo .....	12
3	Indicaciones de seguridad .....	13
3.1	Peligros de lesiones y de muerte .....	13
3.2	Peligros para el equipo y su funcionamiento .....	14

<b>4</b>	<b>Principios teóricos</b>	<b>15</b>
4.1	Conducción de calor estacionaria	15
4.2	Conductibilidad térmica	16
4.3	Conducción de calor lineal	17
4.3.1	Conducción de calor a través de una pared recta	17
4.3.2	Conducción de calor a través de una pared recta de varias capas	17
4.4	Conducción de calor radial	18
<b>5</b>	<b>Experimentos</b>	<b>19</b>
5.1	Conducción de calor lineal con pieza de montaje 1	19
5.1.1	Evaluación del ensayo	20
5.2	Conducción de calor lineal con pieza de montaje 2	22
5.2.1	Evaluación del ensayo	23
5.3	Conducción de calor lineal con pieza de montaje 3	24
5.3.1	Evaluación del ensayo	25
5.4	Conducción de calor radial	26
5.4.1	Evaluación del ensayo	27
5.5	Otros ensayos	27
<b>6</b>	<b>Anexo</b>	<b>28</b>
6.1	Hojas de cálculo	28
6.2	Datos técnicos	32
6.3	Bibliografía	34
6.4	Índice	35

## 1 Introducción

Cuando se realizan cálculos técnicos, es importante determinar la cantidad de calor que se transmitirá por cada unidad de tiempo entre dos medios a temperaturas distintas y separados por una pared. El transporte de calor se denomina transmisión de calor y es, básicamente, de tres tipos:

- **Conducción de calor** en los cuerpos sólidos o en los cuerpos líquidos o gaseosos en reposo
- **Convección** entre un medio sólido y otro medio líquido o gaseoso en movimiento
- **Radiación térmica**, sin intervención de materia

Normalmente, el calor se transmite a la vez por conducción, convección y radiación. Dado que cada clase de transmisión de calor obedece a leyes distintas, cada una se debe tratar por separado.

Con el **Equipo de ensayo WL 370 para transmisión del calor por conducción de G.U.N.T.** se pueden determinar experimentalmente las leyes y magnitudes básicas de la **conducción de calor** en cuerpos sólidos.

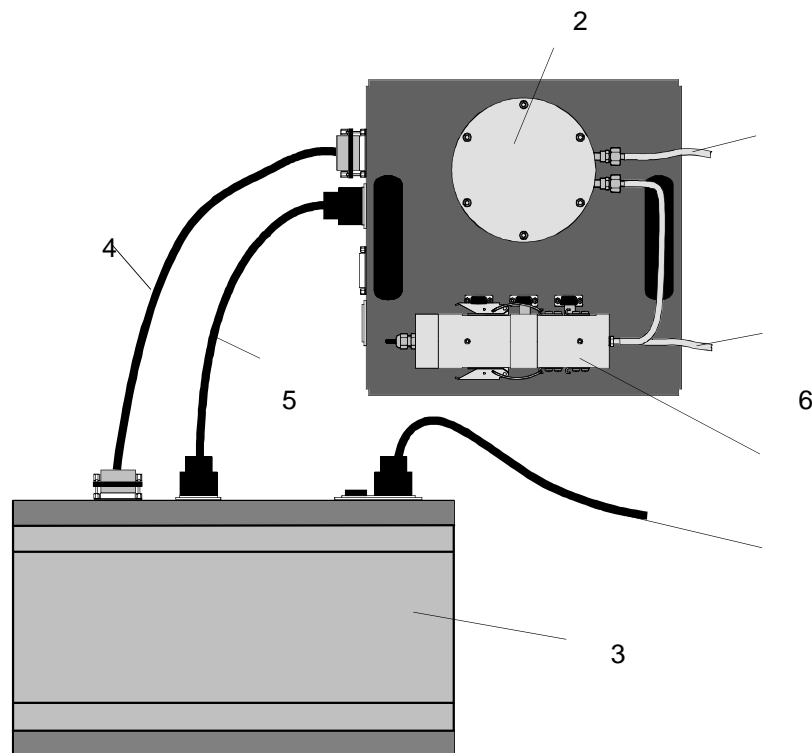
El equipo de mesa **WL 370 Transmisión del calor por conducción** ofrece dos composiciones posibles para ensayos de **conducción de calor lineal** y **radial**.

En la **conducción de calor lineal**, se pueden montar varias piezas intermedias para realizar ensayos con distintos materiales o diámetros.

## 2 Descripción del equipo

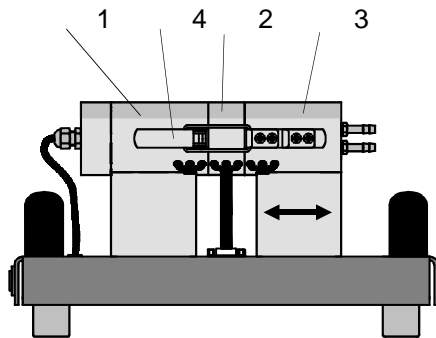
### 2.1 Estructura del equipo

El equipo de ensayo **WL 370 Transmisión del calor por conducción** es un equipo de mesa con dos composiciones posibles para **conducción de calor lineal (1)** y **conducción de calor radial (2)**. El equipo de manejo y visualización (3) se debe colocar junto al equipo de ensayo. Las dos unidades se conectan mediante dos cables, un cable de datos (4) y un cable eléctrico (5). Una entrada y una salida de agua refrigerante (6, 7) y una alimentación (8) completan el equipo de ensayo.

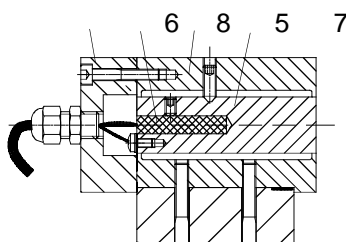


Equipo de mesa con equipo de manejo e indicación  
Fig. 2.1

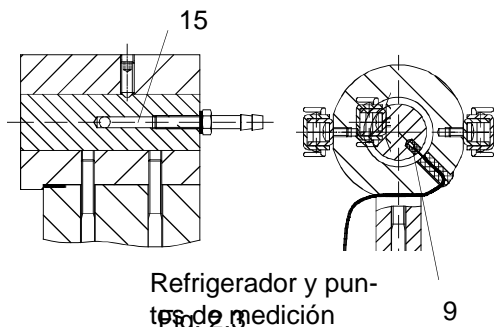
## 2.1.1 Conducción de calor lineal



Conducción de calor lineal  
Fig. 2.4



Calefactor  
Fig. 2.2



Refrigerador y puntos de medición  
Fig. 2.3

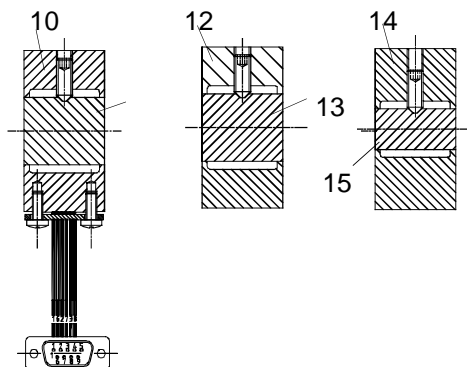


Fig. 2.5 Piezas de montaje

El equipo para **conducción de calor lineal** consta de tres segmentos:

- parte fija con calefactor (1),
- distintas piezas de montaje (2),
- parte móvil con refrigerador (3).

Cuando se abre el cierre a presión (4) y la parte del refrigerador se empuja hacia atrás (3), se puede colocar una pieza de montaje. De este modo, el calor del calefactor se transmite linealmente al refrigerador a través de una pieza de montaje.

El calefactor (1) consta del aislamiento exterior (5), la tapa (6), la varilla de latón (7) y el elemento calefactor eléctrico (8). Hay tres puntos de medición de la temperatura (9) a 45 distribuidos por el aislamiento exterior (5) y señalados en la varilla de latón (7). Junto con la pieza de montaje (10) se forma así un tramo de medición con nueve puntos de medición.

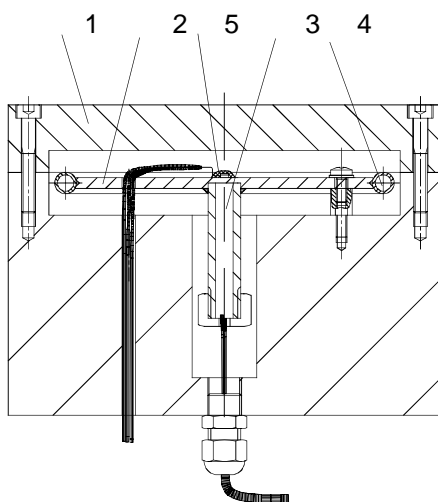
La **pieza de montaje 1** (10) tiene tres puntos de medición de la temperatura señalados en una varilla de latón (11). Esta varilla de latón tiene el mismo diámetro que el calefactor (1) y el refrigerador (3). Los cables de medición se conectan a la placa base mediante un conector Sub-D. Si se utilizan otras piezas de montaje, la pieza de montaje 1 se puede colocar junto a ellas, no hay que desenchufar el conector Sub-D.

La **pieza de montaje 2** (12) también tiene el mismo diámetro que el calefactor y el refrigerador, pero es de acero inoxidable (13) y no tiene puntos de medición de la temperatura. En cambio, la **pieza de montaje 3** (14) tiene un diámetro más pequeño, es de latón (15) y tampoco tiene puntos

de medición de la temperatura. Todas las piezas de montaje están recubiertas por una capa aislante.

El refrigerador (3), como el calefactor, se compone de un aislamiento exterior y una varilla de latón. Esta varilla de latón tiene orificios (15) a través de los cuales puede fluir el agua refrigerante.

## 2.1.2 Conducción de calor radial



Conducción de calor radial  
Fig. 2.6

La parte para **conducción de calor radial** consiste en una unidad cerrada. Se compone de:

- Caja aislante (1) con tapa
- Disco (2) con calefactor (3) y refrigerador (4)

El calefactor (3) está sujeto por el centro y por abajo a un disco de latón (2). Alrededor del disco hay un tubo de cobre (4) por el que fluye el agua refrigerante. Visto desde arriba, a partir del centro hay seis puntos de medición de la temperatura (5).

De este modo, el calor se transmite radialmente del calefactor al refrigerador.

## 2.1.3 Equipo de manejo e indicación

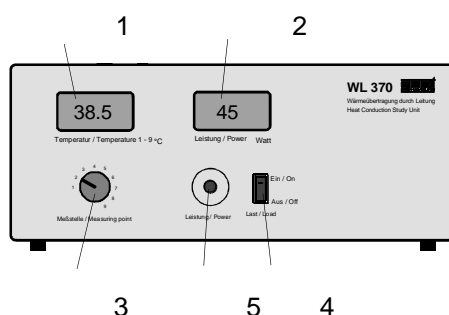


Fig. 2.7 Equipo de manejo e indicación

El equipo de manejo e indicación incluye un indicador de temperatura y un indicador de potencia (1, 2). Los dos indicadores son digitales. La temperatura se expresa en C y la potencia del calefactor en vatios. El punto de medición mostrado cada vez en el indicador de temperatura se selecciona mediante el botón giratorio (3). La potencia del calefactor se ajusta con el interruptor (4) EIN / AUS (encendido/apagado) y con el potenciómetro (5).



### 2.2 Puntos de medición y dimensiones

#### 2.2.1 Conducción de calor lineal

Los puntos de medición están numerados de izquierda a derecha. La distancia entre dos puntos de medición es de 10 mm.

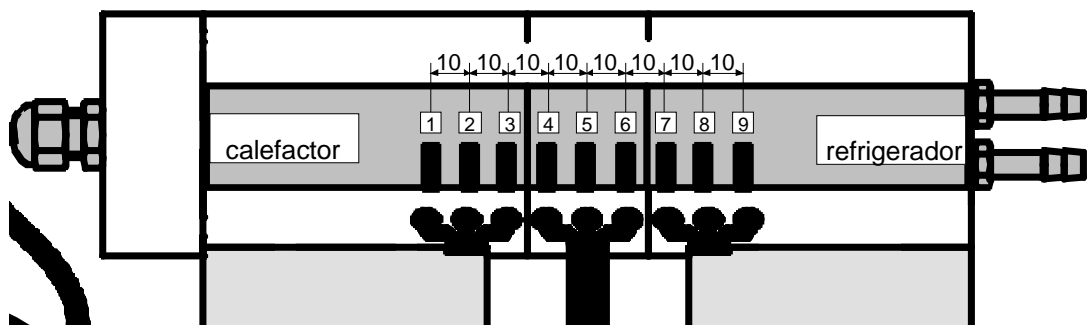


Fig. 2.8 Puntos de medición de la transmisión de calor lineal

El diámetro del calefactor, el refrigerador, la pieza de montaje 1 y la pieza de montaje 2 es de 25 mm. La pieza de montaje 3 tiene un diámetro de 15 mm.

Si no se utiliza la pieza de montaje 1 en los ensayos, habrá que hacer caso omiso de las temperaturas mostradas para los puntos de medición 4, 5 y 6.

### 2.2.2 Conducción de calor radial

Los puntos de medición están numerados desde el centro hacia el exterior. La distancia entre dos puntos de medición es de 10 mm.

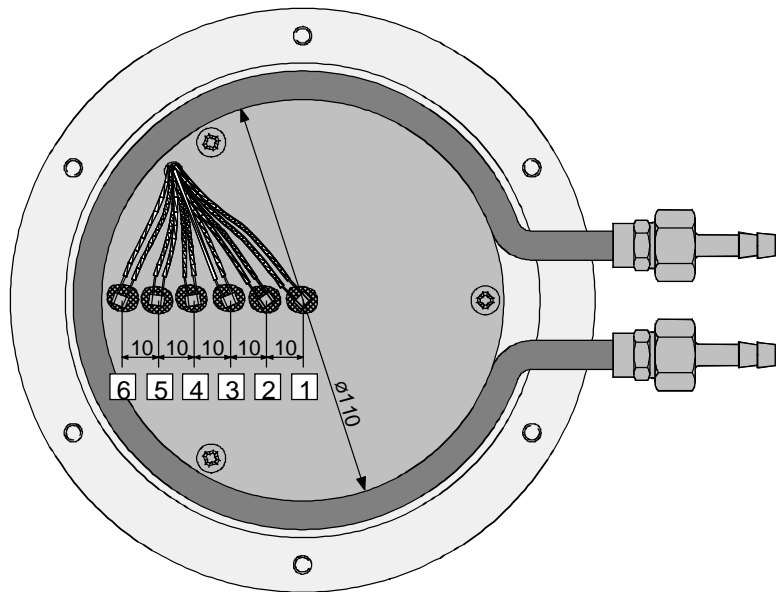


Fig. 2.9 Puntos de medición de la transmisión de calor radial

El diámetro del disco es de 110 mm y el grosor de 4 mm.

El calefactor se encuentra por debajo de la mitad, en el centro, y tiene un diámetro de 12 mm.

Durante los ensayos hay que hacer caso omiso de las temperaturas mostradas para los puntos de medición 7, 8 y 9.

## 2.3 Puesta en marcha

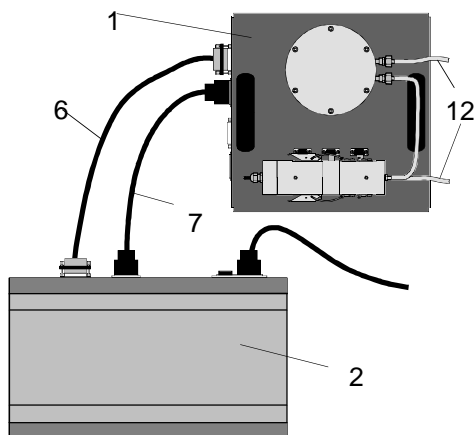


Fig. 2.10 Equipo de ensayo

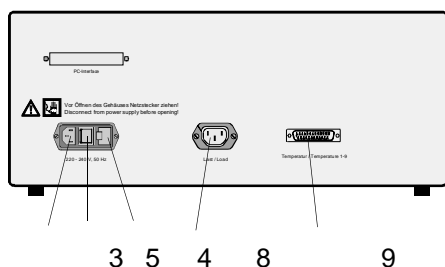


Fig. 2.12 Parte trasera del equipo de manejo

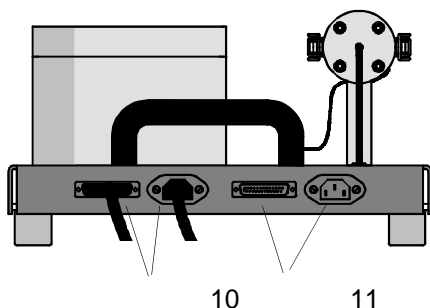


Fig. 2.11 Parte de conexión del equipo de ensayo

Antes de poner en marcha el equipo se deben leer atentamente las instrucciones para ensayos y explicar el correcto manejo del equipo a todos los participantes en el ensayo.

- Colocar el equipo de ensayo (1) y el equipo de manejo e indicación (2) sobre una mesa y comprobar que estén bien asentados.
- Establecer la alimentación eléctrica:

En la parte trasera del equipo de manejo e indicación (2) hay una toma de corriente para equipo frío (3) con un fusible (4) posconectado y un interruptor primario (5) con el que se puede proporcionar alimentación al equipo de manejo e indicación 230 V / 50 Hz.

- El equipo de ensayo se conecta al equipo de manejo e indicación mediante el cable de datos (6) y el cable eléctrico (7). La toma de corriente para la carga térmica (8) y el registro de datos de medición (9) se encuentran en la parte trasera.

Para el ensayo de **transmisión de calor radial** (10) se utilizan las tomas de corriente de la izquierda; para el de **transmisión de calor lineal** (11), las de la derecha.

- Preparar la entrada y salida de agua refrigerante (12) con un tubo de 6 mm.

### ¡Atención!

No conectar jamás el calefactor directamente a la red eléctrica. Siempre se debe conectar a través del equipo de manejo e indicación.

Cuando se cambien las conexiones, siempre desconectar primero el equipo de manejo e indicación.

No poner nunca el equipo en funcionamiento sin agua refrigerante.

### 2.4 Registro de datos de medición

#### 2.4.1 Montaje de la tarjeta multifuncional

La tarjeta se debe montar en el PC (no incluido en el suministro) como se describe a continuación:

- Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.
- Abrir la torre del PC
- Buscar una toma libre en la placa base. (Comprobar que la dirección 0320 HEX del PC aún no esté ocupada)
- Introducir la tarjeta y atornillarla
- Cerrar la torre del PC
- Conectar el amplificador de la medición y la tarjeta multifuncional con el cable de cinta plana

#### 2.4.2 Instalación del software

El software se instala en el PC siguiendo la guía del usuario. Se deben dar los pasos siguientes:

- Encender el PC e iniciar Windows
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera
- Abrir el Administrador de archivos de Windows
- Seleccionar la unidad de disco en la se encuentre el disquete de instalación
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo

La instalación se efectúa automáticamente. A continuación se crea un icono propio en Windows que permite iniciar el software de la aplicación.

## 2.4.3 Manejo del software

Cuando se inicia el software, aparece el menú principal. Con los botones (1) se puede acceder a todas las demás pantallas.

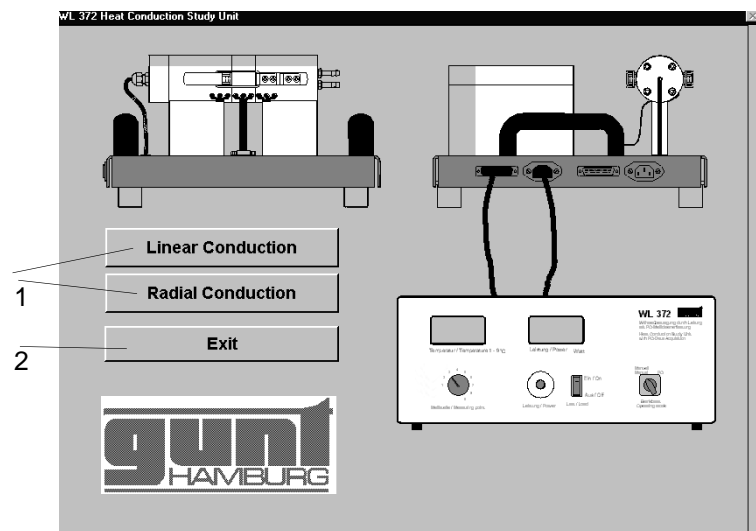


Fig. 2.13 Menú principal

Con el botón (2) se finaliza el programa.

### 2.4.3.1 Pantalla "Linear Conduction" (Conducción lineal)

En esta pantalla se muestran todos los valores de medición de la **transmisión de calor lineal**.

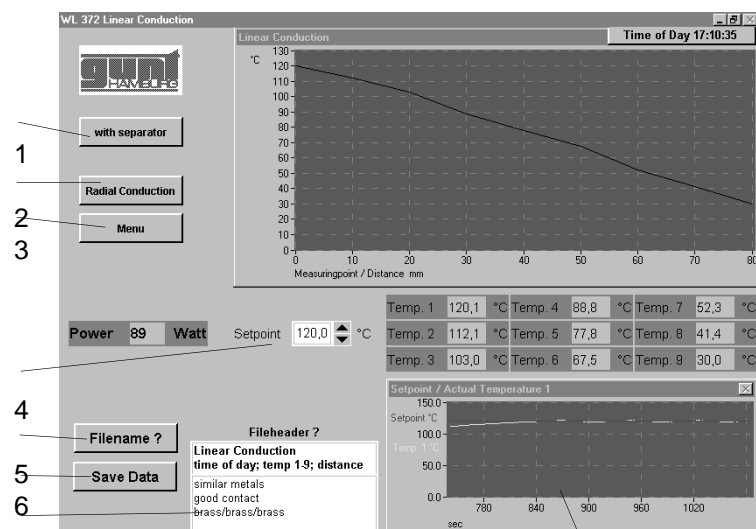


Fig. 2.14 Linear Conduction (Conducción lineal)

El gráfico muestra la recta de temperatura de la transmisión de calor en línea.

Con los botones (1 - 3) se pasa a las otras pantallas. En el software se ha integrado un regulador que permite ajustar la temperatura del punto de medición 1. Se puede predefinir la temperatura deseada mediante los controles deslizantes (4). El trazo (8) muestra la desviación de la temperatura 1 actual respecto a la temperatura 1 deseada con esta regulación.

Para continuar con el tratamiento, los valores de medición se pueden guardar en un archivo del modo siguiente:

1. Seleccionar el nombre del archivo con el botón (5).
2. Introducir un texto descriptivo en el encabezado del archivo de la parte de entrada (7).
3. Guardar los valores de medición con el botón (6).

## 2.4.3.2 Pantalla "Linear Conduction with Seperator" (Conducción lineal con divisor)

Permite registrar valores de medición con las piezas de montaje 2, 3 u otros aislantes. Los valores

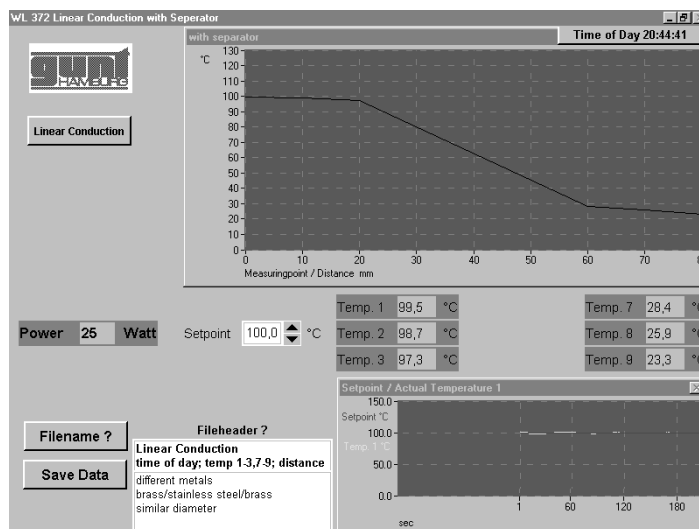


Fig. 2.15 Linear Conduction with Seperator (Conduc-

de indican, regulan y guardan del mismo modo que en la pantalla "Linear Conduction" (Conducción lineal).

### 2.4.3.3 Pantalla "Radial Conduction" (Conducción radial)

En esta pantalla se muestran todos los valores de medición de la **transmisión de calor radial**.

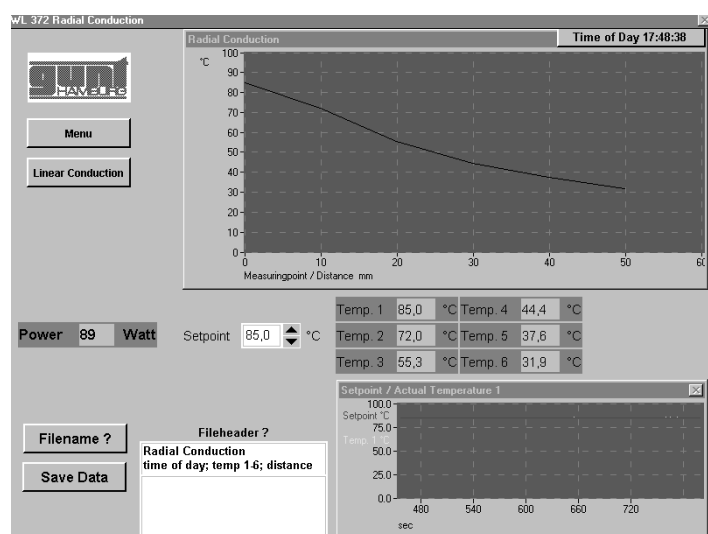


Fig. 2.17 Linear Conduction with Separator (Conduc-

Los valores de indican, regulan y guardan del mismo modo que en la pantalla "Linear Conduction" (Conducción lineal).

### 2.4.4 Jerarquía de las pantallas

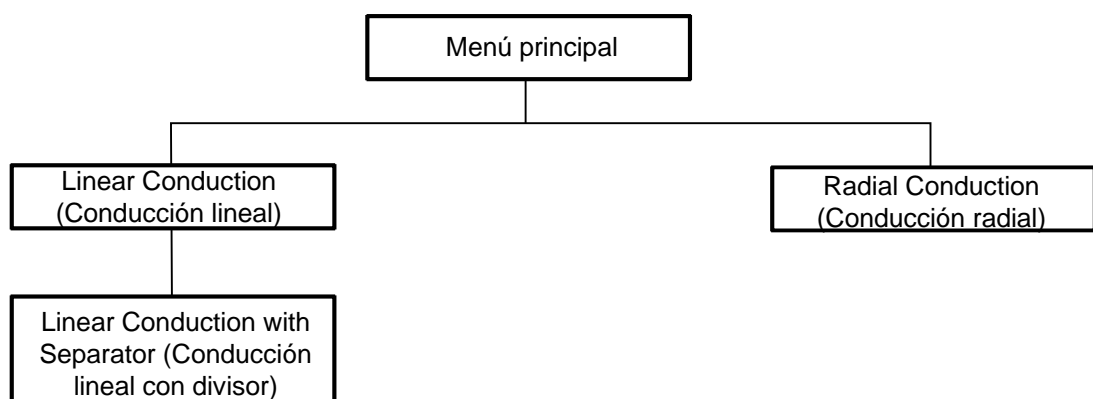


Fig. 2.16 Jerarquía de las pantallas

### 2.4.5 Cómo guardar los valores de medición en un archivo

Cuando se selecciona "Filename" (Nombre de archivo), se registra un encabezado de archivo con el nombre de la pantalla, la hora actual y el orden de los datos de medición que se van a guardar. Además, en el encabezado de archivo se puede introducir un texto descriptivo. Los registros de datos se añaden al archivo abierto anteriormente mediante "Save Data" (Guardar datos). El archivo se cierra cuando se sale de la pantalla.

```
//Linear Conduction
//time of day; temp 1-3,7-9; distance; power
//different metals
//brass/stainless steel/brass
//similar diameter
20:44:19      99,33984375    0      20,15483268545
20:44:19      98,931510925293    10      20,15483268545
20:44:19      97,6235733032227    20      20,15483268545
20:44:19      28,3855476379395    60      20,15483268545
20:44:19      25,8334636688232    70      20,15483268545
20:44:19      23,3834629058838    80      20,15483268545
```

Fig. 2.18 Ejemplo de archivo de datos



## 3 Indicaciones de seguridad

### 3.1 Peligros de lesiones y de muerte

Cuando se trabaja con el **Equipo de ensayo de transmisión de calor por convección WL 370** se deben tener en cuenta los siguientes aspectos relacionados con la seguridad durante el trabajo:



- **¡PELIGRO! Precaución al abrir el equipo de manejo e indicación y manipular las demás conexiones eléctricas.**

Peligro de descarga eléctrica. Desconectar primero el enchufe de red.

Los trabajos los debe efectuar exclusivamente personal técnico.

- Utilizar sólo dispositivos protectores (fusibles) con el valor adecuado.



- **¡PELIGRO! ¡No tocar las superficies calientes ni los recubrimientos!**

Peligro de quemaduras.

Dejar siempre enfriar primero el equipo.

Cuando se trabaja con potencias caloríficas altas, el aislamiento también se calienta. Los tornillos de los tapones a presión pueden alcanzar temperaturas elevadas. Llevar siempre guantes o utilizar un paño para el desmontaje.

### 3.2 Peligros para el equipo y su funcionamiento



- Peligro de sobrecalentamiento.  
No utilizar el equipo de ensayo a más de 120 °C. Las piezas de plástico se podrían fundir.



- No poner nunca el equipo en funcionamiento sin agua refrigerante. Se podría sobrecalentar.



- No conectar el calefactor directamente a la red eléctrica. Se podría sobrecalentar y quemar.



- Cuando se cambien las conexiones del cable eléctrico y el cable de datos, siempre desconectar primero el equipo de manejo e indicación. Los sensores de temperatura y los transformadores de medida se podrían averiar.

## 4 Principios teóricos

### 4.1 Conducción de calor estacionaria

La conducción de calor consiste en el transporte molecular de calor en medios sólidos, líquidos y gaseosos sometidos a una diferencia de temperatura. El caso técnico más frecuente de **conducción de calor estacionaria** se da cuando se mantiene el transporte de calor mediante la alimentación constante de calor, por ejemplo, en transmisiones de calor.

Según la ley de Fourier, a través de una sección transversal de un cuerpo sólido (figura 4.1) con una superficie de sección transversal mayor que la superficie del perímetro la cantidad de calor  $Q$  fluye de forma estacionaria durante el tiempo  $t$ .

El **flujo calorífico**  $\dot{Q}$  de la conducción de calor se describe mediante la ecuación siguiente:

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot t \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \quad (4.1)$$

Siendo  $\lambda$  la **conductibilidad térmica** de la sustancia inundada por el calor,  $\vartheta$  la **temperatura**,  $A$  la **superficie** isotérmica y  $d\vartheta / dx$  la **caída de temperatura** en el sentido del flujo calorífico.

El **flujo calorífico**  $\dot{Q}$  es igual al cociente de la cantidad de calor y el tiempo.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \quad (4.2)$$

En los cálculos se presupone que sólo hay diferencia de temperatura en un sentido y que la temperatura se mantiene constante en el nivel perpendicular.

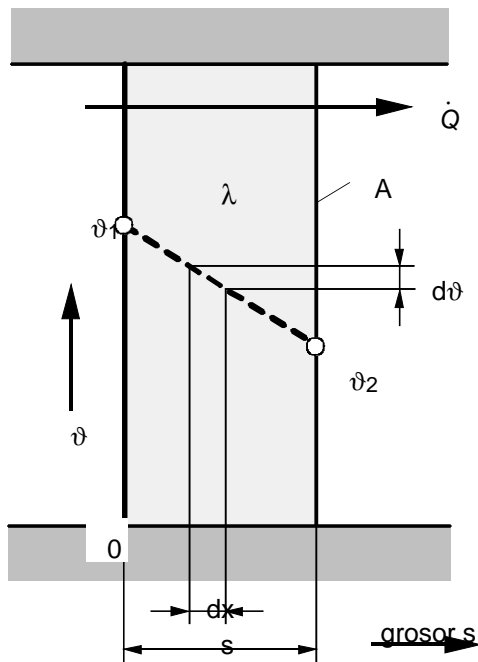


Fig. 4.1 Conducción de calor a través de una pared recta

El flujo calorífico según la superficie se denomina **densidad del flujo térmico**  $\dot{q}$ :

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (4.3)$$

Si se utiliza como base una sustancia con conductibilidad térmica dependiente de la temperatura  $\lambda = f(\vartheta)$  y se convierte esta conductibilidad térmica  $\lambda$  en una conductibilidad térmica media  $\lambda_{1,2}$  en el margen entre las temperaturas  $\vartheta_1$  t  $\vartheta_2$ , se obtiene la **densidad de flujo térmico**  $\dot{q}$ :

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{s} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (4.4)$$

## 4.2 Conductibilidad térmica

La conductibilidad térmica es un proceso molecular que consiste en el intercambio de energía cinética entre dos moléculas.

En los metales, la conducción de calor se produce, además de a través de las oscilaciones moleculares, a través de flujos de electrones que incrementan la conductibilidad. En estos materiales los electrones no están unidos a un lugar fijo, sino que se mueven de un lado a otro unidos en redes (como las moléculas de un gas). A esto se debe que los conductores eléctricos tengan una conductibilidad térmica mucho mayor que los no conductores eléctricos. A 20 C, la conductibilidad térmica es, aproximadamente:

$$\lambda_{20C} \approx \frac{2,45 \cdot \chi_e \cdot T}{10^8} \text{ in } \frac{W}{m \cdot K} \quad (4.5)$$

siendo  $\chi_e$  = conductibilidad eléctrica ( $1/(\Omega \cdot m)$ )  
T = temperatura absoluta (K)

## 4.3 Conducción de calor lineal

### 4.3.1 Conducción de calor a través de una pared recta

Según la ecuación 4.1, a través de una pared recta se da un flujo calorífico de:

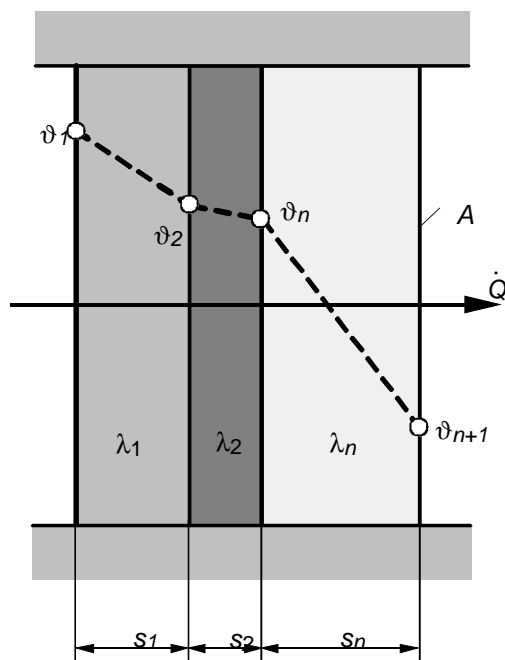
$$Q = -\lambda \cdot A \cdot t \cdot \frac{d\vartheta}{dx}.$$

Si la sección transversal  $A$  es constante y  $dx = s$ , entonces:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (4.6)$$

### 4.3.2 Conducción de calor a través de una pared recta de varias capas

El flujo calorífico es igual en todas las capas de una pared. Se puede afirmar lo siguiente:



1.<sup>a</sup> capa:  $\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{s_1} \cdot A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$

2.<sup>a</sup> capa:  $\dot{Q} = \frac{\lambda_2}{s_2} \cdot A \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_n)$

n. capa:  $\dot{Q} = \frac{\lambda_n}{s_n} \cdot A \cdot (\vartheta_n - \vartheta_{n+1})$

Si se convierten y suman las ecuaciones de las distintas capas se obtiene el flujo calorífico buscado de la diferencia total de temperatura:

$$\dot{Q} = \frac{A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_{n+1})}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_n}{\lambda_n}} \quad (4.7)$$

Fig. 4.2 Conducción de calor en una pared de varias capas

#### 4.4 Conducción de calor radial

La conducción de calor radial consiste en conducir el calor a través de un cilindro hueco. Si en una pared la superficie de transición térmica se conserva, en cambio, la superficie inundada por el calor varía durante el transporte de calor radial,  $A = f(r)$ . El flujo calorífico permanece constante. En cualquier punto del cilindro, se puede afirmar que:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{d\vartheta}{dr} \quad (4.8)$$

Siendo  $A = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot L$   $L$  = longitud del cilindro  
Lo que da lugar a:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{d\vartheta}{dr}$$

Mediante la conversión y la integración entre los límites  $r_i$  y  $r_a$  se obtiene el flujo calorífico buscado a través de un cilindro hueco:

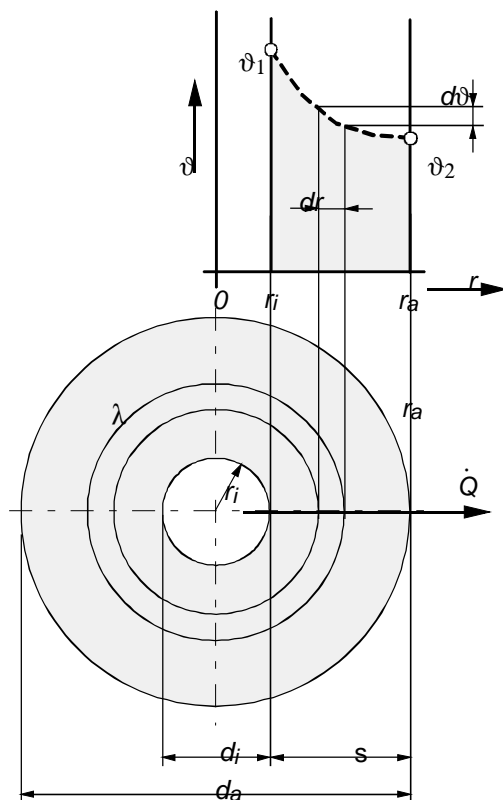


Fig. 4.3 Conducción de calor radial

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln \frac{r_a}{r_i}} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad (4.9)$$

## 5 Experimentos

En este apartado se describen algunos ensayos que se pueden realizar con este equipo a modo de ejemplo.

Los resultados de medición detallados no se deben entender como valores indicativos válidos en todas las circunstancias. Según la perspectiva técnica del ensayo, las temperaturas ambientales y la temperatura y cantidad de agua refrigerante, se pueden dar desviaciones en los experimentos.

Este apartado se divide en ensayos para **conducción de calor lineal y radial**.

El objetivo de los ensayos es representar gráficamente la evolución de la temperatura durante la conducción de calor lineal y radial; además, también se puede determinar la conductibilidad térmica  $\lambda$ .

### 5.1 Conducción de calor lineal con pieza de montaje 1

- Colocar el equipo como se describe en el capítulo 2.3, colocar la pieza de montaje 1 y ajustar la cantidad de agua refrigerante (sólo hace falta una cantidad muy pequeña de agua refrigerante, aproximadamente 1 l/h, para generar una potencia calorífica de 90 vatios para una diferencia de temperatura de 90 C).
- Encender el equipo y ajustar la caída de temperatura deseada mediante la potencia del equipo de manejo e indicación.
- Cuando la conducción de calor se encuentre estacionaria, es decir, cuando las temperaturas de cada punto de medición estén estables y no se modifiquen, anotar los resultados de medición de cada punto de medición y la potencia eléctrica del calefactor.

## WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Pieza de montaje 1 con 3 puntos de medición de temperatura	Tramo de medición: latón / latón / latón			
	Diámetro: 25 mm 25 mm 25 mm			
	Conductibilidad térmica $\lambda$ : 113 113 113 W/(m · K)			
	Potencia: 82 vatios $\lambda$ a 20 °C			
Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-	120.8	-	-
2	10	112.6	8.2	203.7
3	20	103.5	9.1	183.6
4	30	89.2	14.3	116.8
5	40	78.1	11.1	150.5
6	50	67.6	10.5	159.1
7	60	52.3	15.3	109.2
8	70	41.5	10.8	154.7
9	80	29.9	11.6	144.0

Tab. 5.1 Valores de medición de pieza de montaje 1

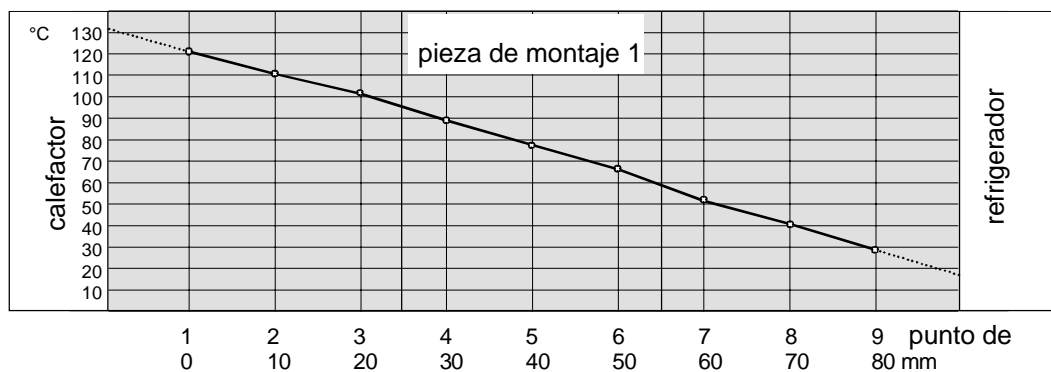


Fig. 5.1 Evolución de la temperatura con la pieza de montaje 1

### 5.1.1 Evaluación del ensayo

Los valores  $\lambda$  incrementados respecto al valor de referencia general  $\lambda_{\text{latón}} = 113 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  se derivan, por un lado, de la pérdida de calor a través del aislamiento y, por el otro, al incremento de la conductibilidad a altas temperaturas. Si la pérdida  $= 0$ , la necesidad de calor se reduce y  $\lambda$  disminuye.



La magnitud de la pérdida depende de la diferencia de temperatura respecto al entorno.

En la tabla 5.1 se ve que la conductibilidad térmica  $\lambda$  disminuye junto con la temperatura. Por lo tanto, no se puede ver con claridad el tamaño de las partes que contribuyen al incremento de la conductibilidad térmica  $\lambda$ .

En los puntos de contacto de la pieza de montaje de la figura 5.1 se ven con claridad las modificaciones de la recta de temperatura. A partir de este contacto en buen estado, también se obtiene una diferencia de temperatura mayor  $\Delta \vartheta$  y una conductibilidad térmica menor  $\lambda$  entre los puntos de medición 3-4 y 6-7.

## 5.2 Conducción de calor lineal con pieza de montaje 2

- Colocar la pieza de montaje 2 y ajustar la cantidad de agua refrigerante.
- Encender el equipo y ajustar la caída de temperatura deseada mediante la potencia del equipo de manejo e indicación.
- Cuando la conducción de calor esté en estado estacionario, anotar los resultados de medición de cada punto de medición y la potencia eléctrica del calefactor.

Pieza de montaje 2 sin puntos de medición de temperatura	Tramo de medición: latón / acero fino / latón			
	Diámetro:		25 mm	25 mm
	Conductibilidad térmica :		113	15
	Potencia:		20 vatios	113 W / (m · K) a 20 °C
Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-	99.3	-	-
2	10	98.9	-	-
3	20	97.6	-	-
Punto de contacto 1	25	~94	5.3	192.2
Punto de contacto 2	55	~29	65	18,8
7	60	28.4	-	-
8	70	25.8	-	-
9	80	23.4	5.6	181.9

Tab. 5.2 Valores de medición de pieza de montaje 2

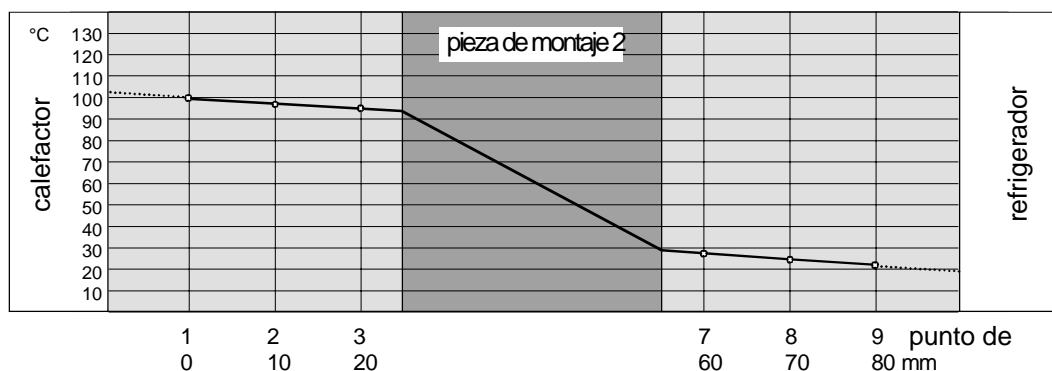


Fig. 5.2 Evolución de la temperatura con la pieza de montaje 2

### 5.2.1 Evaluación del ensayo

Las temperaturas de los puntos de contacto 1 + 2 se han deducido de la figura 5.2.

También en este caso se aprecia la aproximación a los valores de referencia generales  $\lambda_{\text{latón}} = 113 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  y  $\lambda_{\text{aceroVA}} = 15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Los valores vuelven a ser un poco más altos (véase capítulo 5.1.1).

Como el área de medición es sensible, los valores  $\lambda$  se deben medir a lo largo de tramos largos. Las imprecisiones de la temperatura por desviaciones del sensor y los indicadores dan lugar a diferencias pequeñas pero a errores relativamente importantes difíciles de interpretar. Esto se ve fácilmente si se intentan determinar valores  $\lambda$  entre los primeros puestos de medición.

## 5.3 Conducción de calor lineal con pieza de montaje 3

- Colocar la pieza de montaje 3 y ajustar la cantidad de agua refrigerante.
- Encender el equipo y ajustar la caída de temperatura deseada mediante la potencia del equipo de manejo e indicación.
- Cuando la conducción de calor esté en estado estacionario, anotar los resultados de medición de cada punto de medición y la potencia eléctrica del calefactor.

Pieza de montaje 3 sin puntos de medición de temperatura	Tramo de medición: latón / latón / latón			
	Diámetro: 15mm 25 mm 25 mm			
	Conductibilidad térmica *: 113 113 113 W/(m · K)			
	Potencia: 23 vatios			
	* a 20 °C			
Punto de medición	Distancias en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-	99.8	-	-
2	10	98.4	-	-
3	20	96.1	-	-
Punto de contacto 1	25	~94	5,8	201,9
Punto de contacto 2	55	~35	59	66,2
7	60	31.2	-	-
8	70	28.4	-	-
9	80	25.0	10	117.1

Tab. 5.3 Valores de medición de pieza de montaje 3

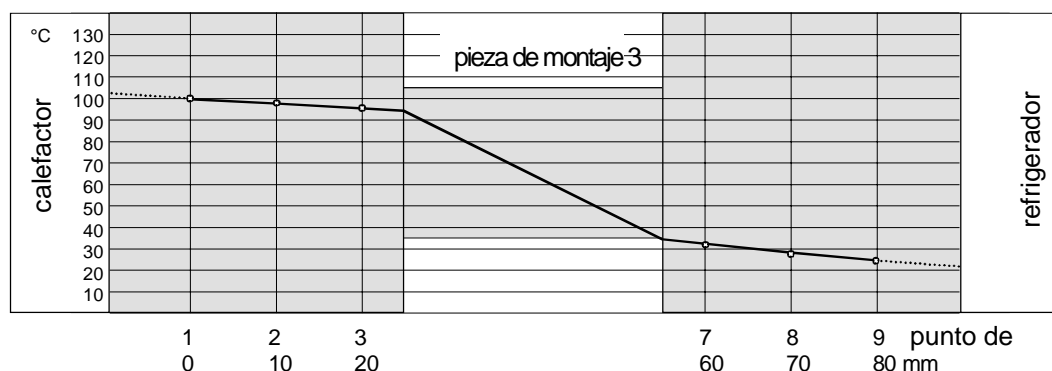


Fig. 5.3 Evolución de la temperatura con la pieza de montaje 3

### 5.3.1 Evaluación del ensayo

Las temperaturas de los puntos de contacto 1 + 2 se han deducido de la figura 5.3.

También en este caso se ve la proximidad a los valores generales de referencia para el diámetro grande  $D = 25 \text{ mm}$   $\lambda_{\text{latón}} = 113 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Los valores vuelven a ser un poco más altos (véase capítulo 5.1.1). No se puede alcanzar el valor  $\lambda$  para la pieza de montaje. Esto se debe a que la sección transversal presenta muchas interrupciones y los puntos de contacto no están en perfectas condiciones, lo que obstaculiza enormemente el fluido del calor.

El área de medición también es muy sensible en este caso, por lo que los valores  $\lambda$  se deben medir a lo largo de tramos largos. Las imprecisiones de la temperatura por desviaciones del sensor y los indicadores dan lugar a diferencias pequeñas pero a errores relativamente importantes difíciles de interpretar. Esto se ve fácilmente si se intentan determinar valores  $\lambda$  entre los primeros puestos de medición.

## 5.4 Conducción de calor radial

- Colocar el equipo como se describe en el capítulo 2.3 y ajustar la cantidad de agua refrigerante (hace falta aproximadamente 1 l/h de agua refrigerante para generar una potencia calorífica de 90 vatios para una diferencia de temperatura de 90 °C).
- Conectar el cable eléctrico y el cable de datos como corresponda.
- Encender el equipo y ajustar la caída de temperatura deseada mediante la potencia del equipo de manejo e indicación.
- Cuando la conducción de calor se encuentre estacionaria, es decir, cuando las temperaturas de cada punto de medición estén estables y no se modifiquen, anotar los resultados de medición de cada punto de medición y la potencia eléctrica del calefactor.

Disco como cilindro hueco	Tramo de medición: latón			
	Diámetro: 12 / 55 mm			
	Conductibilidad térmica*: 113 W/(m · K)			
	Potencia: 90 vatios			
	* a 20 °C			
Punto de medición	Distancia $r_a$ en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-	84.9	-	-
2	10	71.9	13	no se puede calcular
3	20	55.2	16.7	148.6
4	30	44.4	10.8	134.4
5	40	37.5	6.9	149.3
6	50	31.8	5.7	140.2

Tab. 5.4 Valores de medición de la conducción de calor radial

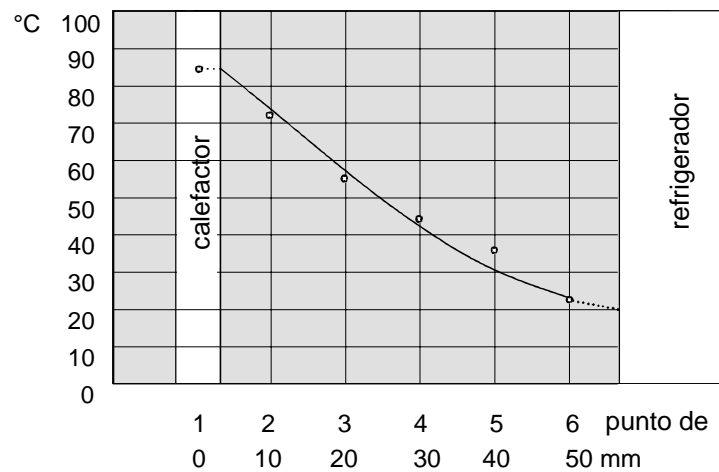


Fig. 5.4 Evolución de la temperatura con conducción de calor radial

## 5.4.1 Evaluación del ensayo

También aquí se aprecia la aproximación al valor de referencia general  $\lambda_{\text{latón}} = 113 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ . Los valores vuelven a ser un poco más altos (véase capítulo 5.1.1).

## 5.5 Otros ensayos

Se pueden realizar otros ensayos con papel, corcho o chapas finas de metal en vez de piezas de montaje. Estas piezas intermedias podrían ofrecer un contacto imperfecto, por lo que no deberían tener un grosor superior a 1 mm.

# WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC

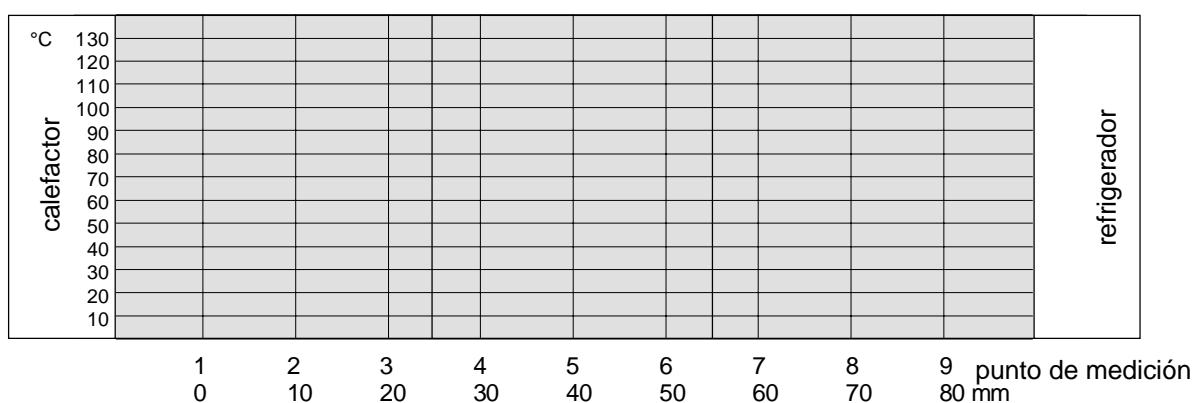


## 6 Anexo

### 6.1 Hojas de cálculo

Conducción de calor lineal con pieza de montaje 1

Pieza de montaje 1 con 3 puntos de medición de temperatura	Tramo de medición:			
	Diámetro:	latón / 25 mm	latón / 25 mm	latón 25 mm
	Conductibilidad térmica $\lambda$ :	113	113	113 W/(m · K)
	Potencia:	vatos		
Punto de medición	Distancias en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			
7	60			
8	70			
9	80			



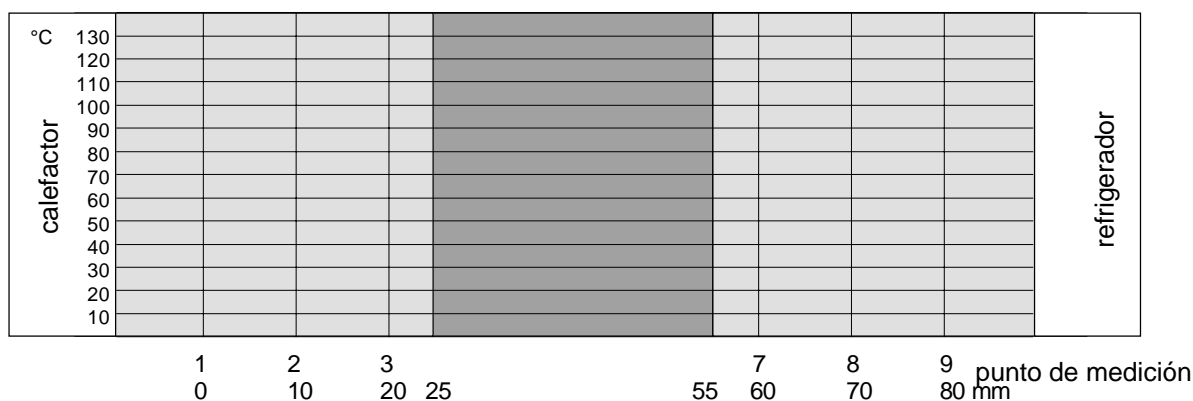


# WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Conducción de calor lineal con pieza de montaje 2

Pieza de montaje 2 sin puntos de medición de temperatura	Tramo de medición:			
	Diámetro:		latón / 25 mm	acero fino / 25 mm
	Conductibilidad térmica $\lambda$ :		113	15
	Potencia:		latón 113 W/(m · K) a 20 °C	
Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-			
2	10			
3	20			
Punto de contacto 1	25			
Punto de contacto 2	55			
7	60			
8	70			
9	80			

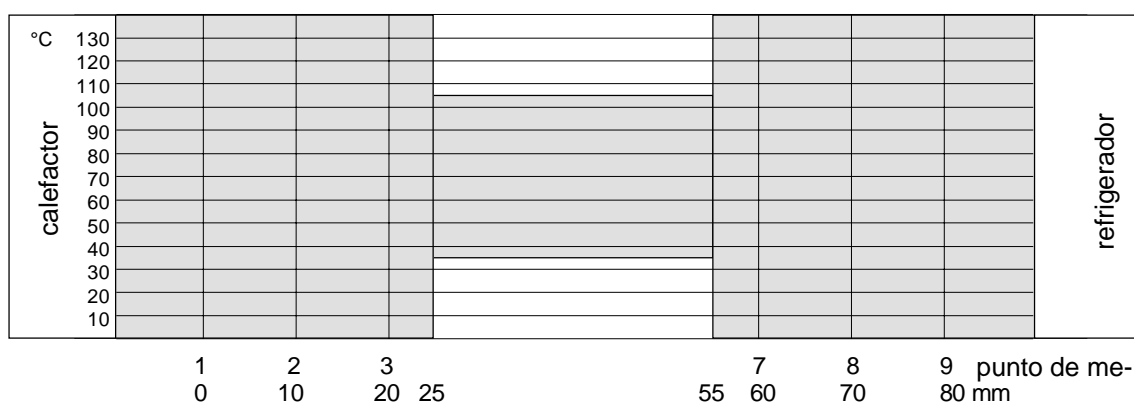


# WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Conducción de calor lineal con pieza de montaje 3

Pieza de montaje 3 sin puntos de medición de temperatura	Tramo de medición:			
	Diámetro:		latón / 15mm	latón / 25 mm
	Conductibilidad térmica $\lambda$ :		113	113
	Potencia:		113 W/(m · K) <sup>*</sup> a 20 °C	
Punto de medición	Distancia s en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-			
2	10			
3	20			
Punto de contacto 1	25			
Punto de contacto 2	55			
7	60			
8	70			
9	80			

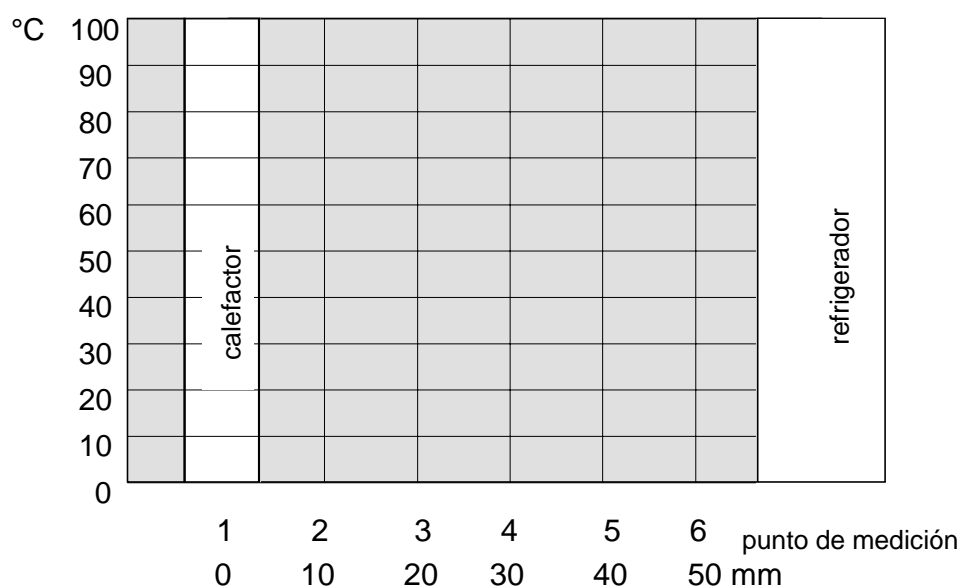


# WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Conducción de calor radial

Disco como cilindro hueco	Tramo de medición: latón			
	Diámetro: 12 / 25 mm			
	Conductibilidad térmica * : 113 W / (m · K)			
	Potencia: vatios * a 20 °C			
Punto de medición	Distancia $r_a$ en mm	Temperatura $\vartheta$ en °C	Diferencia de temperatura $\Delta\vartheta$ en K	Conductibilidad térmica $\lambda$ en $\frac{W}{m \cdot K}$
1	-			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			



## 6.2 Datos técnicos

Dimensiones del equipo de ensayo:

Peso:	8	kg
Alto:	200	mm
Ancho:	350	mm
Largo:	350	mm

Dimensiones del equipo de manejo e indicación:

Peso:	4	kg
Alto:	195	mm
Ancho:	460	mm
Largo:	345	mm

Calefactor:

Potencia:	100	váticos
-----------	-----	---------

Sensores de temperatura:

Modelo:	TD5A
rea de medición:	-40 a 150 C

Pieza de montaje 1:

Material:	latón	
Diámetro:	25	mm
Largo:	30	mm

Pieza de montaje 2:

Material:	acero fino 1.4305		
Diámetro:	25	mm	
Largo:	30	mm	

Pieza de montaje 3:

Material:	latón	
Diámetro:	15	mm
Largo:	30	mm

## WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



Conexión a la red:

Alimentación: 230 V/ 50 Hz

Protección por fusible del equipo

de manejo e indicación: 4 A

### **6.3 Bibliografía**

Walter Wagner,  
Wärmeübertragung,  
Vogel Fachbuch / Kamprath-Reihe,  
4., überarbeitete Auflage. Würzburg 1993

Günter Cerbe, Hans-Joachim Hoffmann,  
Einführung in die Wärmelehre,  
Carl Hanser Verlag,  
9., verbesserte Auflage , München, Wien 1990

## 6.4 Indice

<b>A</b>	
	acero fino . . . . . 3
	agua refrigerante . . . . . 4
	aislamiento externo . . . . . 3
	anexo . . . . . 28 - 35
<b>B</b>	
	bibliografía . . . . . 34
	botón giratorio . . . . . 4
<b>C</b>	
	cable de datos . . . . . 2
	cable eléctrico . . . . . 2
	caída de temperatura . . . . . 15
	calefactor . . . . . 3
	capa aislante . . . . . 4
	carga térmica . . . . . 7
	chapa de metal . . . . . 27
	chapa de metal fina . . . . . 27
	cierre a presión . . . . . 3
	cilindro hueco . . . . . 18
	conducción de calor . . . . . 1
	conducción de calor estacionaria . . . . . 15
	conducción de calor lineal . . . . . 2
	conducción de calor radial . . . . . 2
	conductibilidad . . . . . 16
	conductibilidad térmica . . . . . 15 - 16
	conductor eléctrico . . . . . 16
	convección . . . . . 1
	corcho . . . . . 27
<b>D</b>	
	datos técnicos . . . . . 32
	densidad del flujo térmico . . . . . 16
	descripción del equipo . . . . . 2 - 12
	diferencia de temperatura . . . . . 15
	diferencia total de temperatura . . . . . 17
	dimensión . . . . . 5
<b>E</b>	

	electrón . . . . .	16
	energía cinética . . . . .	16
	entrada y salida de agua refrigerante . . . . .	2
	equipo de ensayo . . . . .	2
	equipo de manejo e indicación . . . . .	4
	equipo de manejo y visualización . . . . .	2
	estructura del equipo . . . . .	2
	experimentos . . . . .	19 - 27
<b>F</b>		
	flujo calorífico . . . . .	15
	flujo de electrones . . . . .	16
	fusible . . . . .	7
<b>H</b>		
	hoja de cálculo . . . . .	28
<b>I</b>		
	indicaciones de seguridad . . . . .	13 - 14
	indicador de potencia . . . . .	4
	indicador de temperatura . . . . .	4
	indicador digital . . . . .	4
	interruptor primario . . . . .	7
	introducción . . . . .	1
<b>J</b>		
	jerarquía . . . . .	11
<b>M</b>		
	manejo . . . . .	7
	molécula . . . . .	16
<b>O</b>		
	otros ensayos . . . . .	27
<b>P</b>		
	papel . . . . .	27
	pared recta . . . . .	17
	peligro de lesiones y de muerte . . . . .	13
	peligro para el equipo y su funcionamiento . . . . .	14
	piezas de montaje . . . . .	3
	potencia . . . . .	4
	potenciómetro . . . . .	4
	principios teóricos . . . . .	15 - 18
	proceso molecular . . . . .	16
	puesta en marcha . . . . .	7
	punto de contacto . . . . .	21
	punto de medición . . . . .	5 - 6
	punto de medición de temperatura . . . . .	4
	puntos de medición de temperatura . . . . .	3



## WL 372 Transmisión de Calor por Conducción/PC



<b>R</b>	
	radiación térmica . . . . . 1
	refrigerador . . . . . 3
	registro de datos de medición . . . . . 7
<b>S</b>	
	seguridad durante el trabajo . . . . . 13
	software . . . . . 8
	superficie . . . . . 15
	superficie de transición térmica . . . . . 18
	superficie isotérmica . . . . . 15
<b>T</b>	
	toma de corriente . . . . . 7
	toma de corriente para equipo frío . . . . . 7
	tramo de medición . . . . . 3
	transmisión de calor . . . . . 1
	transporte de calor . . . . . 1, 15
<b>V</b>	
	varias capas . . . . . 17